

声光调制用于全光纤激光器的光谱调谐

易平,刘彪,周丹,杨嵩,叶忠

(中国电子科技集团公司第26研究所,重庆400060)

摘要:描述了采用压电换能器对谐振腔内增益光纤的声光调制,通过控制压电换能器的信号,实现了全光纤激光器的光谱调谐。同时,利用实验制作的可调谐激光器产生了连续可调微波信号,其频率范围1~4.9 GHz。

关键词:声光;光波长调谐;微波信号

中图分类号:TN91 **文献标识码:**A

The Spectrum Tuning Acousto-optic Modulation Used for Spectral All Fiber Laser

YI Ping, LIU Biao, ZHOU Dan, YANG Song, YE Zhong

(Sichuan Institute of Piezoelectric and Acoustooptic Technology, Chongqing 400060, China)

Abstract: The acousto-optic modulation of the gain fiber in the resonant cavity is introduced by using the piezoelectric transducer in this paper. The spectrum tuning of the all fiber laser is realized by controlling the signals of the piezoelectric transducer. Meanwhile, the fabricated tunable laser generates the continuously tunable microwave signals with the frequency range of 1-4.9 GHz.

Key words: acousto-optic; wavelength tuning; microwave signal

0 引言

窄线宽可调谐的光纤激光器,具有极高的时间相干性和极低的相位噪声,在超高精度长距离光纤传感系统、高速光通信系统、相干光通信、激光雷达、微波光子学等民用和军用领域具有广泛的应用^[1]。窄线宽全光纤激光器的光谱调谐,常利用温度变化、机械机构等调谐方式,实现了在一定范围内光波长连续可调谐。采用声光调制技术的激光波长调谐,是利用压电换能器产生应变来实现激光器波长的调谐^[2]。如 B. Y. Kim 等设计利用声光效应实现带阻滤波特性的装置, W. F. Liu 等利用在光纤光栅上加载横向声波或纵向声波的方法等^[3]。本文拟采用声光调制技术,对激光谐振腔中增益光纤的性能参数进行调制,来实现全光纤激光器的光波长调谐,并利用它产生连续微波信号输出。

1 基本原理

激光器通常由两个平面镜、增益物质等组成激光谐振腔,由谐振腔输出激光光束,如图1所示。

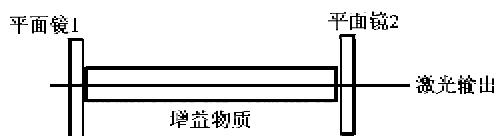


图1 激光器的工作原理图

激光的波长 λ 为

$$\lambda = (2nL)/q \quad (q=1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

式中: L 为激光介质的长度; n 为折射率。显然,激光器通过激光谐振腔对激光束进行频率筛选,谐振腔的性能参数,如 n 、 L 等都会对激光器输出的激光光束波长或频率产生影响。采用声光调制技术的激光波长调谐是利用压电换能器产生应变,来控制激光器振荡腔的参数变化,使激光波长也随之改变,进而实现激光器波长的调谐。

2 实验

2.1 声光调制的光谱调谐

采用声光调制技术方式的光波长调谐,原理图如图2所示。压电换能器粘接在工装夹具上,增益光纤安装在工装夹具中。光纤布喇格光栅(FBG)、增益光纤、波分复用器(WDM)和激光二极管(LD)

收稿日期:2014-04-30

作者简介:易平(1963-),男,重庆人,工程师,主要从事声光技术及应用的研究。

组成光纤激光腔, 并通过隔离器 (ISO) 输出激光光束。

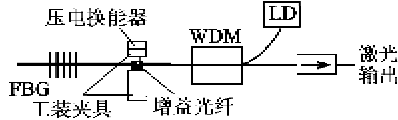


图 2 光波长调谐的原理图

当 LD 泵浦源激励增益光纤时, 由 WDM、掺 Er³⁺ 光纤和耦合光栅 FBG 熔接构成的激光谐振腔, 形成激光振荡, 同时窄线宽光栅的波长选频能力, 使激光器产生窄线宽的激光输出。声光调制是在产生激光束的腔内, 调制增益光纤的径向尺寸和折射率变化, 实现光波长的偏移。

试验中, 对压电换能器施加信号, 使压电换能器产生形变、超声波, 引起增益光纤产生径向的形变, 形成增益光纤的折射率和尺寸形状的变化, 从而使激光谐振腔的参数受到调制, 输出的激光波长也随之改变, 并用光谱仪测试输出激光光束的波长。

2.2 压电换能器和光纤的耦合设计

压电换能器和光纤的耦合, 主要考虑如何使压电换能器所激变形变更好地进入光纤内。由于压电换能器所激变形变强度与压电晶体的机电耦合系数有关, 而光纤的基本材料为熔石英晶体, 所以设计中首先考虑机电耦合系数大的压电晶体材料。铌酸锂晶体有高的机电耦合系数, 与光纤有声匹配耦合损耗; 熔石英作为压电晶体, 虽然声匹配耦合损耗小但机电耦合系数也小很多。两种晶体材料的各项参数如表 1 所示。

表 1 铌酸锂、熔石英晶体性能参数

压电材料	切型	模式	机电耦合系数
铌酸锂晶体	36Y	L	0.49
	X	S	0.68
	163Y	S	0.62
	Z	L	0.17
熔石英晶体	X	L	0.098
	Y	S	0.137
	AC	S	0.083

压电材料	密度/(kg/m ³)	声速/(m/s)	声阻抗/Ω
铌酸锂晶体	4 640	7 300	33.90
		4 800	22.30
		4 480	20.80
		7 320	34.00
		5 740	15.20
熔石英晶体	2 650	3 850	10.20
		3 300	8.75

试验中, 压电换能器采用 36°Y-切铌酸锂晶体,

并将铌酸锂晶片固定在金属家具上, 增益光纤除去外包层, 裸光纤固定在工装夹具内。

2.3 连续可调微波信号的产生^[4]

采用声光调谐技术实现窄线宽激光波长的调谐, 可在光域中产生高品质的微波信号。试验中, 采用了两个试验制作的窄线宽可调谐光纤激光器, 通过两束光外差技术, 由光电探测器输出微波信号, 频率为

$$f = c/\lambda_1 - c/\lambda_2 \quad (2)$$

光电探测器输出信号用频谱仪进行测试, 如图 3 所示。

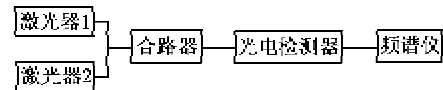


图 3 光外差产生微波信号框图

3 实验结果和分析

3.1 窄线宽光波长调谐

图 4 为窄带光纤激光器和驱动电路的结构框图, 其中输入信号由外控信号电路产生需要的信号特征, 经过信号处理电路、放大后驱动压电换能器。

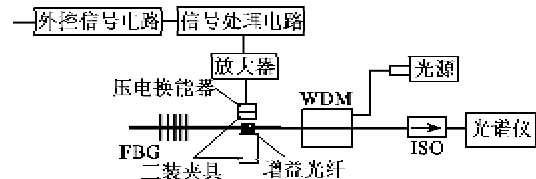


图 4 窄带光纤激光器和驱动电路的结构框图

激光器是采用带尾纤输出的 976 nm LD 为光源, 泵浦由光纤 WDM、掺 Er³⁺ 光纤作为增益光纤和光栅光纤 FBG (-18 dBm、3 dB 带宽为 0.2 nm) 熔接构成的激光谐振腔, 产生 1 544 nm 窄波长线宽的激光输出。实验中, 外控信号为 0~30 V 的高精度数字信号, 控制压电换能器的振荡幅度变化, 也使激光器的输出波长发生改变。图 5 为光谱仪上测试的激光波长。图中的图形是光谱仪上 3 个调试数字信号对应的激光波长输出。

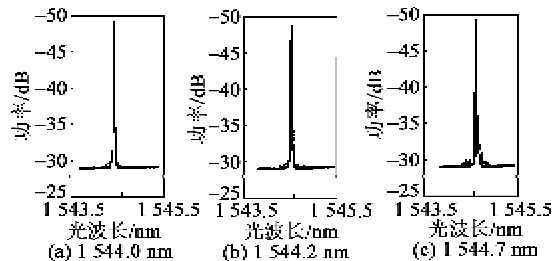


图 5 光谱仪上测试的激光波长

由图 5 可知, 随着外控信号的变化时, 光纤激光

器输出的波长峰值对应为 1 544.0 nm、1 544.2 nm、1 544.7 nm。同时,实验数据显示光波长调谐范围为纳米量级。

3.2 连续微波信号的产生

由于窄线宽激光器具有良好的光谱性能,因此可在光域中产生高品质的微波信号,特别是在高频段(毫米波段)信号的产生方面显示出明显的优势。实验中使用两个光纤激光器,由于两个激光器输出的光波长的微弱差异,在经过光束混频后,由光电检测器(PD)检测,得到微波信号输出(见图6)。

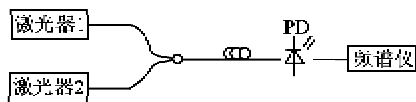


图6 连续微波信号的产生原理图

两个激光器的外控信号进行同步并行输入,PD的响应频率范围 ≤ 6 GHz,外接频谱仪进行频率测试。实验中,保持一路外控数字信号不变,另一路外控数字信号从0~20 V连续变化,从频谱仪上测试微波频率的数值,其对应曲线如图7所示。

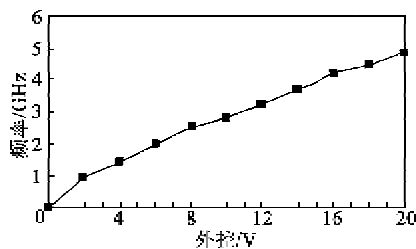


图7 外控数字信号与微波频率的对应曲线

采用两个窄线宽可调谐激光器,通过外差法实现激光光束混频后,通过PD得到激光频差的微波信号1~4.9 GHz,该信号的频率能连续可调。

4 结束语

窄线宽可调谐的光纤激光器,由于声光调制的光谱调谐是“微调谐”,得到的光波长调谐范围并不宽(纳米量级),但光波长的微扰动,特别适应产生100 GHz以下的微波光源。实验中,产生的微波信号频率只达到4.9 GHz,是受到光电检测器性能的限制。该声光调制的可调谐光纤激光器并制作产生微波信号的模块,已在用户系统中得到应用。

参考文献:

- [1] OLIVEIRA R A, MARQUES C A F, MAYER C E N, et al. Single device for excitation of both flexural and longitudinal acousto-optic effects in fiber Bragg gratings[C]//Brazil: Microwave and Optoelectronics Conference(IMOC) of 2009, 1/4: 546-549.
 - [2] DOROTHY Y, WANG Y W, GONG Jianmin, et al. Fully distributed fiber-optic temperature sensing using acoustically-induced rocking grating[J]. Optic Letters, 2011, 36(17): 3392-3394.
 - [3] LIU W F, RUSSELL P S J, DONG L. 100% efficient narrow-band acousto-optic tunable reflector using fiber Bragg grating[J]. Journal of Lightwave Technology, 2008, 16(11): 2006-2009.
 - [4] CLARK T, AIROLA M, SOVA R. Demonstration of dual-polarization fiber ring laser for microwave generation[C]//S. I.: IEEE, MWP'04, 2004: 127-130.
- (上接第551页)
- [9] ICHIHARA M, KAMEDA M. Propagation of acoustic waves in visco-elastic two-phase system; influences of the liquid viscosity and the internal diffusion[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2004, 137: 73-91.
 - [10] EGASHIRA R, YANO T, FUJIKAWA S. Linear wave propagation of fast and slow modes in mixtures of liquid and gas bubbles[J]. Fluid Dynamics Research, 2004, 34: 317-334.
 - [11] 王成会, 林书玉. 容器形状对液体声波的影响[J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2010, 38(2): 29-34.
 - [12] 王勇, 林书玉, 张小丽. 声波在含气泡液体中的线性传播[J]. 物理学报, 2013, 62(6): 0643041-0643045.
 - WANG Yong, LIN Shuyu, ZHANG Xiaoli. Linear wave propagation in bubbly liquid[J]. Acta Phys Sin, 2013, 62(6): 0643041-0643045.